





## Verfahren zur Triggerung einer gasisolierten Schaltfunkenstrecke und Vorrichtung zur Anwendung des Verfahrens

**Patent number:** DE19718660  
**Publication date:** 1998-11-19  
**Inventor:** BLUHM HANSJOACHIM DR (DE); FREY WOLFGANG DR (DE)  
**Applicant:** KARLSRUHE FORSCHZENT (DE)  
**Classification:**  
- **International:** H01T2/00; H01T2/00; (IPC1-7): H01T2/00; B23H1/02  
- **European:** H01T2/00  
**Application number:** DE19971018660 19970502  
**Priority number(s):** DE19971018660 19970502

**Also published as:**

 WO9850990 (A1)  
 EP0979548 (A1)  
 EP0979548 (A0)  
 EP0979548 (B1)

[Report a data error here](#)

**Abstract of DE19718660**

The invention relates to a method for triggering a gas insulated switching spark gap and to the spark gap itself. Triggering requires only a small amount of energy using a coherently or incoherently scattering, triggering light source illuminating the gap between the electrodes. The triggering light source releases electrons from the metal particles present in the insulating gas of the switching spark gap. Said electrons are used as starting electrons to form sparking conduits. The metal aerosol is produced in a spark gap, an aerosol generator, with electrodes made from said metal aerosol material. One of the constituents of the insulating gas flows through the aerosol generator. The insulating gas in the switching spark gap consists of at least one constituent.

---

Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide



⑩ **BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND**



**DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT**

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 197 18 660 A 1**

⑤① Int. Cl.<sup>6</sup>:  
**H 01 T 2/00**  
B 23 H 1/02

⑳ Aktenzeichen: 197 18 660.2  
㉑ Anmeldetag: 2. 5. 97  
㉒ Offenlegungstag: 19. 11. 98

**DE 197 18 660 A 1**

⑦① **Anmelder:**  
Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, 76133  
Karlsruhe, DE

⑦② **Erfinder:**  
Blumh, Hansjoachim, Dr., 76297 Stutensee, DE;  
Frey, Wolfgang, Dr., 76137 Karlsruhe, DE

⑤⑥ **Entgegenhaltungen:**  
US 46 04 554  
JP 01-81 185 A  
DOUGAL, R.A.: Fundamental processes in the  
laser-triggered electrical breakdown of gases:  
Unconventional geometries. In Journal of  
applied physics 1986, Nr.12, S.4240-4247;  
DOUGAL, R.A.: Fundamental processes in laser-  
triggered electrical breakdown of gases. In  
The Institute of Physics D: Applied Physics  
1984, Nr.17, S.93-918;  
GREY MORGAN, C.: Laser- unduced breakdown of  
gases  
In: Rep. Prog. Phys 1975, No. 38, S. 621-665;  
TAYLOR, R.S., et.al.: UV Radiation Triggered  
Rail-Gapswitches, In: Rev. of Scient, Instrum,  
1984, Vol. 55, No. 2, S. 52-63;

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ **Verfahren zur Triggerung einer gasisolierten Schaltfunkenstrecke und Vorrichtung zur Anwendung des Verfahrens**

⑤⑦ Es wird ein Verfahren zur Triggerung einer Schaltfunkenstrecke und diese selber beschrieben. Die Triggerung erfolgt extrem energiearm mit einer inkohärent oder kohärent abstrahlenden Triggerlichtquelle, die den Elektrodenzwischenraum ausleuchtet. Die Triggerlichtquelle löst Elektronen aus den im Isoliergas der Schaltfunkenstrecke vorhandenen Metallpartikeln aus, die als Initialelektronen zur Ausbildung der Zündkanäle dienen. Das Metallaerosol wird in einer Funkenstrecke, dem Aerosolgenerator, erzeugt, dessen Elektroden aus dem vorgesehenen Metall-Aerosolmaterial sind. Der Aerosolgenerator wird von einer der Komponenten des Isoliergases durchströmt. Das Isoliergas in der Schaltfunkenstrecke ist mindestens einkomponentig.

**DE 197 18 660 A 1**

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Triggerung einer Schaltfunkenstrecke und eine Schaltfunkenstrecke, die gemäß dem Verfahren betrieben wird.

Das Ziel ist für Hochspannungsentladungen bei den verschiedensten Prozessen einen Schalter zur Verfügung zu haben, der zu einem vorbestimmten Zeitpunkt zuverlässig in den leitenden Zustand überführbar ist. Hierzu ist eine Lösung bekannt, bei der dem Isoliergas in der Funkenstreckenkammer leicht photoionisierbare, gasförmige Additive (Fluorbenzene) beigemischt werden, die dann durch Bestrahlen mit einer Lichtquelle geeigneter Wellenlänge über Photoionisation die Startelektronen für die Ausbildung des Zündkanals freimachen (J. Phys. D: Appl. Phys., 17(1984)903-918. Printed in Great Britain).

Als Lichtquellen, die die Funkenstrecke in den leitenden Zustand versetzen, sog. Triggerlichtquellen, haben sich inkohärente Lichtquellen wie UV-Strahler oder kohärente Lichtquellen wie Laser bewährt. Letzteres ist unter dem Begriff Lasertriggerung bekannt.

Mit der Lasertriggerung wird die zeitlich gezielte Auflösung eines elektrischen Durchschlags in einer Funkenstrecke durch die Bestrahlung des Elektrodenzwischenraums bzw. der Elektrodenoberfläche mit Laserlicht erreicht. Die zur Triggerung der Funkenstrecke erforderliche Laserenergie hängt vom ausgenutzten Mechanismus der photoelektrischen Ladungsträgererzeugung und von der Betriebsart der Funkenstrecke ab.

Grundsätzlich wird zwischen dynamisch beanspruchten Schaltern und Gleichspannungsschaltern unterschieden. An Gleichspannungsschaltern liegt die zu isolierende Spannung vor der Triggerung der Funkenstrecke ständig an. Ein elektrischer Durchschlag in einer gasisolierten Homogenfeldanordnung kann nur erfolgen, wenn der effektive Stoßionisationskoeffizient  $\alpha_{\text{eff}}$  im Gas größer Null ist und folglich eine lawinenartige Vermehrung freibeweglicher Ladungsträger infolge der Stoßionisation stattfinden kann. Bei Feldstärken kleiner der statischen Durchbruchfeldstärke gilt  $\alpha_{\text{eff}} \leq 0$ . Da der Gleichspannungsschalter vor dem Triggerereignis sicher isolieren soll, muß seine Betriebsspannung unter seiner statischen Durchbruchspannung  $U_{\text{DC}}$  liegen.

Die Ionisierungsenergie von Gasatomen liegt oberhalb von  $W_i = 12$  eV und ist damit wesentlich größer als die Photonenenergie der Laserstrahlung, die je nach Wellenlänge des Lasers kleiner als  $W_{\text{ph}} = 4 \dots 5$  eV ist. Die freibeweglichen Ladungsträger des Plasmas können folglich nur durch eine gleichzeitige Absorption mehrerer Photonen, durch die sogenannte Multiphotonenionisation erzeugt werden (siehe Grey Morgan, C.: "Laser-induced Breakdown of Gases", Rep. Prag. Phys., Vol. 38., 1975, p. 621-665).

Die Multiphotonenionisation ist ein stark nichtlinearer Effekt, der erst bei hohen Bestrahlungsstärken in Erscheinung tritt. Zur Erzeugung eines leitfähigen Plasmas, das eine zur Triggerung eines Gleichspannungsschalters ausreichende Ladungsträgerdichten von  $n > 10^{16} \text{ cm}^{-3}$  besitzt (Dougal, R. A. et al.: "Fundamental Processes in the Laser-Triggered Electrical Breakdown of Gases", J. Appl. Phys., Vol. 60, No. 12, 1986, p. 4240-4247), liegt die erforderliche Bestrahlungsstärke bei  $I = 1 \text{ GW} \cdot \text{cm}^{-2}$ . Sie ist nur mit einer Fokussierung des Laserstrahls im Elektrodenzwischenraum zu erreichen. Die erforderlichen Laserenergien betragen  $W > 100 \text{ mJ}$ .

Wird der Laserstrahl auf die Elektrodenoberfläche fokussiert sind die Triggerenergien etwa eine Größenordnung geringer als bei einer Fokussierung im Gasvolumen zwischen den Elektroden. Die erforderliche Laserenergie liegt bei  $W = 10 \text{ mJ}$  (siehe Dougal, R. A. et al.: "Fundamental Processes

in Laser-Triggered Electrical Breakdown of Gases", J. Appl. Phys., Vol. 17, p. 903-918). Verdampftes Metall aus Elektrodenmaterial erhöht hier die Leitfähigkeit des Plasmas. Zusätzlich werden freibewegliche Elektronen durch Photoemission aus der Elektrodenoberfläche ausgelöst.

In der Pulsed-Power-Technik und bei nahezu allen kurzzeitphysikalischen Anwendungen werden die Schaltfunkenstrecken mit impulsförmigen Spannungen  $u(t)$  beaufschlagt und somit dynamisch beansprucht. Zur Triggerung dynamisch beanspruchter Schalter ist der Energieaufwand geringer. Die Spannung am Schalter überschreitet die statische Durchbruchspannung sehr rasch. Die Funkenstrecke bricht bei vergleichsweise hohen Feldstärken von selbst durch, wenn auf natürliche Weise, d. h. durch radioaktive Strahlung oder durch Höhenstrahlung, ein freibewegliches Startelektron gebildet wurde.

Die gezielte Überführung eines dynamischen Schalters in den leitenden Zustand findet vor dem Auftreten eines auf natürliche Weise entstandenen Startelektrons statt. Bevor die Funkenstrecke von selbst durchbricht werden zum Triggerzeitpunkt mittels Laserlicht Startelektronen erzeugt. Während der Vorentladungsdauer erfolgt der Lawinenaufbau und die Streamerausbreitung zwischen den Elektroden. Nach Ablauf der Vorentladungsdauer bricht die Spannung zwischen den Elektroden zusammen und die Funkenstrecke ist im leitenden Zustand.

Im Gegensatz zu Gleichspannungsschaltern ist bei dynamisch beanspruchten Schaltern die Voraussetzung für die Ausbildung eines Entladungskanals, ein Feldstärkewert über die statischen Durchbruchfeldstärke, infolge der kurzzeitigen Überschreitung der statischen Durchbruchspannung bereits erfüllt. Es genügt daher eine vergleichsweise geringe Ladungsträgerdichte, im Idealfall ein einzelnes Startelektron, um die Funkenstrecke gezielt auszulösen. Dazu ist eine geringere Bestrahlungsstärke erforderlich als zur Erzeugung eines hochleitfähigen Plasmas mit hoher Ladungsträgerdichte.

Die aufzuwendenden Triggerlaserenergien liegen im Bereich von 1 mJ und die Bestrahlungsstärken bei wenigen  $\text{MW} \cdot \text{cm}^{-2}$ . Eine Fokussierung des Laserstrahls ist nicht erforderlich. Bei einer Beleuchtung der Elektrodenoberfläche werden zusätzlich zu den im Gasvolumen entstandenen Ladungsträgern Elektronen durch Photoemission aus der Metalloberfläche bereitgestellt. Die aufzuwendende Triggerlaserenergie ist dann, ähnlich wie bei Gleichspannungsschaltern, niedriger als bei einer ausschließlichen Beleuchtung des Zwischenelektrodenraums.

Wird der Triggerlaserstrahl nicht fokussiert und parallel zu den Elektrodenoberflächen geführt, besteht die Möglichkeit, mehrere Entladungskanäle gleichzeitig auszulösen. Um möglichst viele Entladungskanäle zu erzeugen, sind daher langgestreckte und schienenförmig angeordnete Elektrodengeometrien besonders geeignet. Derartig ausgeführte Mehrkanalschalter werden als Railgap-Funkenstrecken bezeichnet. Sie besitzen eine äußerst geringe Schalterimpedanz und wegen der vergleichsweise großen zu beanspruchenden Elektrodenoberfläche eine hohe Lebensdauer.

Railgap-Schalter mit einer Elektrodenlänge von 50 cm wurden von Taylor et. al. am National Research Council of Canada untersucht. Als Triggerlaser dienten ein KrF-Laser ( $\lambda = 248 \text{ nm}$ ) und ein Stickstofflaser ( $\lambda = 337 \text{ nm}$ ). Mit  $\text{Ar/SF}_6$ - und  $\text{N}_2/\text{SF}_6$ -Schaltgasgemischen und ohne optimierende Zusätze erfolgte die Auslösung der Funkenstrecke mit Laserenergien im Bereich von  $W = 20 \text{ mJ}$ .

Eine Verringerung der erforderlichen Triggerlaserenergie wurde durch die Beimischung von leicht photoionisierbaren Gasadditiven, wie Fluorbenzenen bei Verwendung des KrF-Lasers und Trin-Propylamin beim Einsatz des Stick-

stofflasers erzielt. Mit 1 mJ KrF-Laserstrahlung konnten so 70–100 Entladungskanäle pro Meter Elektrodenlänge erzielt werden. Die minimale Triggerenergie war  $W = 100 \mu\text{J}$ , die geringste Bestrahlungsstärke betrug  $I = 300 \text{ kW} \cdot \text{cm}^{-2}$ . Bei der Triggerung mittels N<sub>2</sub>-Laser war der Energieaufwand  $W = 60 \mu\text{J}$  (siehe Taylor, R. S. et al.: "UV Radiation Triggered Rail-Gap Switches", Rev. of Scient. Instrum., Vol. 55, No. 2, 1984, p. 52–63). Die Bestrahlungsstärke lag hier jedoch bei ca.  $T = 4 \text{ MW} \cdot \text{cm}^{-2}$  und damit wesentlich höher als bei der Triggerung mit KrF-Strahlung.

Der Bedarf an Licht- bzw. Laserenergie zur fehlerfreien Auslösung der Funkenstrecke ist hoch. Damit einher geht der Bedarf an Triggerlichtquellen mit höherer Energie, das sich insbesondere in den Kosten für das Triggerlichtsystem niederschlägt.

Daraus ergibt sich die Aufgabe, die der Erfindung zugrunde liegt, nämlich ein Verfahren für eine Schaltfunkenstrecke bereitzustellen, mit dem die Funkenstrecke zeitlich exakt mit möglichst geringer Laserenergie vom sperrenden in den leitenden Zustand übergeführt werden kann. Dazu soll eine Schaltfunkenstrecke bereitgestellt werden, mit der sich das Verfahren zuverlässig durchführen läßt. Die Triggerlichtquelle soll energiearm sein.

Die Aufgabe wird durch ein Verfahren gemäß Anspruch 1 und mit einer Schaltfunkenstrecke gemäß Anspruch 7 gelöst.

In den Unteransprüchen 2 bis 6 sind vorteilhafte Verfahrensschritte gekennzeichnet. Die Unteransprüche 8 bis 13 kennzeichnen für die Ausführung vorteilhafte, bauliche Maßnahmen.

Die zur Triggerung der Schaltfunkenstrecke notwendige Licht- bzw. Laserenergie ist gegenüber dem Stand der Technik sehr niedrig. Das Verfahren benötigt keine strahlfokussierenden Mittel wie Linsen und dazu notwendige Feinjustiereinrichtungen. Das Verfahren ist zur Optimierung bestehender Laserschaltssysteme ohne wesentliche Designänderung anwendbar. Besonders vorteilhaft ist die Optimierung des Schaltverhaltens von Funkenstrecken mit gleichartigen, schienenförmigen Elektroden, also Mehrkanalschalter, den sog. Railgap-Funkenstrecken.

Im folgenden wird das Verfahren und die Schaltfunkenstrecke und der Zeichnung näher erläutert.

Es zeigt:

Fig. 1 den prinzipiellen Aufbau der Schaltfunkenstrecke,

Fig. 2 den Aerosolgenerator im Prinzip,

Fig. 3 die Zündverzugszeit und die Standardabweichung (Jitter),

Fig. 4 die Selbstdurchbruchspannung der Funkenstrecke in Abhängigkeit der Aerosol-Partikel-Konzentration.

Die Schaltfunkenstrecke 4 ist eine Rail-Gap-Funkenstrecke, die senkrecht zu der Achse der elektrischen Feldlinien und parallel zu den beiden Elektroden mit einem Stickstoff-Triggerlaser 9 beleuchtet wird. Das Aerosol ist ein Magnesium-Aerosol, dementsprechend ist mindestens eine der beiden Opferelektroden des Aerosolgenerators 1 aus Magnesium.

Entscheidend für die Anwendung der Metall-Aerosol-Triggermethode zur Optimierung des Schaltverhaltens bestehender Systeme ist, daß durch die Partikelbeimischung kein verfrühter Selbstdurchbruch der Laserschalter vor der Auslösung des Triggerlasers 9 auftritt.

Messungen der Selbstdurchbruchspannung der Railgap-Funkenstrecke 4 in Abhängigkeit von der Partikelkonzentration  $n_p$ , die proportional zur Funkenfrequenz  $f_F$  des Aerosolgenerators 1 ist, zeigen, daß das Selbstdurchbruchverhalten der Funkenstrecke 4 von der Partikelbeimischung nicht beeinflusst wird (Fig. 4). Durch die Anwendung von Metall-Aerosol-Schaltgasen wird das Triggerspannungsintervall

nicht eingeschränkt.

Mit Mg-Partikeln im Schaltgas erfolgt eine fehlerfreie Triggerung der Funkenstrecke 4 bei Laserenergien von  $W = 200 \text{ nJ}$ . Bei dieser Triggerenergie ist die Schaltsteuerung geringer als ohne Partikelbeimischung und einer um Faktor 1000 höheren Laserenergie, Fig. 3, rechts.

Die Bestrahlungsstärke liegt bei der geringsten untersuchten Triggerlaserenergie bei  $I = 300 \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2}$  und ist damit um 4 Größenordnungen niedriger als bei bisherigen Ansätzen zur Verringerung der erforderlichen Triggerlaserenergie. Die erforderliche Laserenergie selbst ist um 3 Größenordnungen geringer.

Die Funktionsweise der Methode ist nicht an eine bestimmte Elektrodengeometrie der Funkenstrecke gebunden.

Eine gezielte Auslösung eines dynamisch beanspruchten Laserschalters hängt in erster Linie davon ab, ob bei einer bestimmten Laserenergie Startelektronen erzeugt werden können. Dabei spielt der genutzte Startladungsträgerprozeß die maßgebliche Rolle und nicht die Elektrodengeometrie.

Die physikalische Grundlage der Metall-Aerosol-Triggermethode ist die hohe Quantenausbeute der Photoemission von Elektronen aus kleinen sphärischen Metallpartikeln in einer Gasatmosphäre. Sie liegt in der Größenordnung von  $Y > 10^{-4}$ . Bei einer Bestrahlung der Partikel mit Licht genügen somit  $N_e = 10^4$  Photonen um ein freibewegliches Elektron zu erzeugen.

Als Ursache für die hohe Quantenausbeute wird die vernachlässigbare Rückstreuung von Elektronen an Gasteilchen in Richtung der Partikeloberfläche mit anschließender Absorption des Elektrons angesehen. Eine Elektronenemission in Richtung der Flächennormalen besitzt die höchste Austrittswahrscheinlichkeit.

Die Metallpartikel 2 werden mit Hilfe des Aerosolgenerators 1 erzeugt, der nach dem Funkenerosionsprinzip arbeitet. Zur technischen Umsetzung der Triggermethode wird die Gaszuleitung 3 der Schaltfunkenstrecke 4 aufgetrennt und der Funkenerosionsgenerator 1 dazwischengeschaltet, Fig. 1. Diese Art der Aerosolerzeugung und -beimischung ist für einen Dauerbetrieb des Laserschalters mit gleichbleibenden Schalteigenschaften geeignet. Mit anderen Methoden der Aerosolerzeugung, wie beispielsweise der Drahtexplosionsmethode, kann eine Langzeitstabilität der Schalteigenschaften bei einem repetierenden Betrieb der Funkenstrecke nicht erreicht werden.

Im Funkenerosionsgenerator 1 entstehen die kugelförmigen Metallpartikel 2 infolge der Funkenentladungen zwischen den beiden Opferelektroden 7, Fig. 2. Die Entladung wird aus der Kapazität  $C_3$  gespeist und brennt repetierend mit der Funkenfrequenz  $f_F$ . Im Lichtbogenfußpunkt wird Elektrodenmaterial aufgeschmolzen und in flüssiger Form in den Gasraum geschleudert, wo es kugelförmig erstarrt und vom Gasstrom 8 in die Schaltfunkenstrecke 4 transportiert wird.

Die Opferelektroden 7 bestehen aus dem vorgegebenen Metall. Die Austrittsarbeit des Partikelmaterials  $W_A$  muß kleiner sein als die Photonenenergie der Triggerlaserstrahlung  $W_{ph}$ . Um eine Sedimentation der Partikel in der Funkenstrecke zu vermeiden, muß der Partikeldurchmesser kleiner als  $D_p = 500 \text{ nm}$  sein. Die erforderliche Partikelkonzentration liegt in der Größenordnung von  $n_p = 10^4 \text{ cm}^{-3}$ . Das wird mit einem Gasstrom von  $> 1 \text{ l/min}$  und mit Mg-Elektroden erreicht. Der Entladekreis des Aerosolgenerators ist so ausgelegt, daß die Speicherkapazität  $C_3 = 20 \text{ nF}$  ist, die Ladespannung 1 kV beträgt und die Repetierfrequenz mindestens 5 Hz ist.

Die Triggermethode wird an der Railgap-Funkenstrecke 4 eingesetzt und mit der Beimischung von Magnesiumpartikeln 2 untersucht. Die Austrittsarbeit von Magnesium beträgt

$W_A = 3,66$  eV. Die Photonenenergie des verwendeten  $N_2$ -Triggerlasers 9 (= 337 nm) liegt mit  $W_{ph} = h = 3,68$  eV leicht darüber. Der mittlere Magnesium-Partikeldurchmesser ist  $D_p = 100$  nm und die Partikelkonzentration im Schaltgas  $n_p > 10^4$  cm<sup>-3</sup>.

Zunächst wurde aus experimentellen Gründen mit einer Schaltgasgrundmischung von Argon und  $SF_6$  gearbeitet. Prinzipiell aber ist der Einsatz eines Mischgases für die Funktion der Triggermethode nicht notwendig. Es kann auch ein einkomponentiges oder höherkomponentiges Schaltgas zum Betrieb der Schaltfunkenstrecke 4 verwendet werden.

Der geringe Energiebedarf zur Triggerung der Funkenstrecke 4 mit Aerosolschaltgas wird bei der Messung der Zündverzugszeit der Funkenstrecke 4, der Zeitdauer vom Beginn des Laserimpulses bis zum Beginn des Spannungszusammenbruchs über der Funkenstrecke 4, in Abhängigkeit von der Triggerlaserenergie besonders deutlich, Fig. 3. Bei einer Grundgas Mischung von 10%  $SF_6$  in Argon, einem Gasdruck von  $p = 2$  bar<sub>absolut</sub> und ohne Mg-Partikelbeimischung findet bei einer Laserenergie von  $W = 20$  µJ nur noch sporadisch eine Lasertriggerung statt. In mehr als 50% aller Triggerversuche bricht die Funkenstrecke 4 hier bei höheren Spannungswerten erheblich nach dem Laserinstrahlzeitpunkt von selbst durch. Die Zündverzugszeit und die Schallstreuung der Funkenstrecke 4 (Jitter) sind mit 145 ns bzw. 167 ns dementsprechend hoch, vgl. Fig. 3.

#### Bezugszeichenliste

- 1 Funkenerosionsgenerator, Aerosolgenerator
- 2 Metallpartikel
- 3 Gaszuleitung, Verbindungsleitung
- 4 Schaltfunkenstrecke, Railgap-Funkenstrecke, Funkenstrecke
- 5 Gaszuleitung, Zuleitung
- 6 Schaltgasversorgung
- 7 Elektroden, Opferelektroden
- 8 Gasstrom
- 9 Triggerlichtquelle, Triggerlaser,  $N_2$ -Triggerlaser

#### Patentsprüche

1. Verfahren zur Triggerung einer gasisolierten und unter vorgegebenen Isoliergasdruck gestellten Schaltfunkenstrecke mit einer Lichtquelle, bestehend aus den Schritten:

- ein Funkenerosionsgenerator (Aerosolgenerator) (1) wird in die die Zuleitung (3) einer Isoliergaskomponente zur Schaltfunkenstrecke (4) eingebaut und unter vorgegebenen Druck gestellt,
- im Funkenerosionsgenerator (Aerosolgenerator) (1), in dem Funkenentladungen zwischen zwei Elektroden (7), den Opferelektroden, stattfinden und der mit einer vorgebbaren Repetierfrequenz betrieben wird, wird am Fußpunkt des durch die jeweilige Entladung erzeugten Funkenlichtogens Elektrodenmaterial aufgeschmolzen und in flüssiger Form in den Zwischenraum der Opferelektroden (7) geschleudert, wo es zu kleinen kugelförmigen, in der durchströmenden Isoliergaskomponente nicht absinkenden, schwebefähigen Partikeln (Metall-Aerosol) erstarrt, von dem Gasstrom mitgerissen und zur Schaltfunkenstrecke (4) transportiert wird,
- der Zwischenraum zwischen den Elektroden der Funkenstrecke wird zum Zwecke der Zündung mit einer Lichtquelle (9) vorbestimmter Wellen-

länge, der Triggerlichtquelle, zumindest teilausgeleuchtet, wodurch die Startelektronen zum Aufbau eines Entladungskanals (vorzugsweise bei Längstriggerung) oder mehrerer Entladungskanäle (vorzugsweise bei Quertriggerung) zwischen den Elektroden der Schaltfunkenstrecke (4) zum vorgegebenen Zeitpunkt über Photoemission aus den im Isoliergas vorhandenen Metall-Aerosol-Partikeln freigesetzt werden, - die Achse des Triggerlichtstrahls (9) wird zentral durch den Raum zwischen den Elektroden der Schaltfunkenstrecke (4) gelenkt, und zwar entlang der Achse des elektrischen Feldes (Längstriggerung) zwischen den beiden Elektroden oder senkrecht dazu (Quertriggerung).

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Schaltfunkenstrecke (4) ein einkomponentiges Isoliergas, wie  $SF_6$  oder  $N_2$ , oder ein mindestens zweikomponentiges Isoliergas, wie ein  $N_2$ /Ar-Gemisch oder Luft im einfachsten Fall, verwendet wird.
3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß als Isolier-/Schaltgas eine Mischung aus 98-86% Ar und komplementär dazu  $SF_6$  verwendet wird und die nichtelektronegative Gaskomponente Ar durch den Aerosolgenerator (1) strömt.
4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß als Triggerlichtquelle (9) eine inkohärente, zur Photoemission von Elektronen aus Aerosolpartikeln geeignete Lichtquelle verwendet wird.
5. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß als Triggerlichtquelle (9) ein Laser verwendet wird, der durch Photoemission aus Partikel des Isoliergas-aerosols Elektronen aus löst.
6. Verfahren nach Anspruch 4 und 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Schaltfunkenstrecke (4) als Gleichspannungsschalter oder als dynamisch beanspruchter Schalter verwendet wird.
7. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach den Verfahrensansprüchen 1 bis 6, bestehend aus einer lichtgetriggerten Schaltfunkenstrecke, dadurch gekennzeichnet, daß die Achse des Lichtstrahls der Triggerlichtquelle (9) durch ein lichtdurchlässiges Fenster wie Quarzglas in der Wand der Schaltfunkenstrecke (4) (Quertriggerung) oder durch ein solches in einer der beiden Elektroden führt (Längstriggerung) und durch das Zentrum des Elektrodenzwischenraums geht, ein Funkenerosionsgenerator (Aerosolgenerator) (1) unmittelbar an eine Schaltgasversorgung (6) mit Druckreguliereinrichtungen angeschlossen und weiter über eine Druckgasleitung (3) an die Kammer der Schaltfunkenstrecke (4) gekoppelt ist, in der Verbindungsleitung (3) zwischen dem Funkenerosionsgenerator (1) und der Funkenkammer der Schaltfunkenstrecke (4) mindestens eine weitere Zuleitung (5) für eine weitere Isoliergaskomponente mündet, so daß ein mindestens einkomponentiges Isoliergas der Schaltfunkenstrecke (4) zugeführt wird, mindestens eine der beiden Elektroden des Aerosolgenerators (1) aus einem leicht ablatierbaren, metallischen Material besteht oder damit beschichtet ist (Opferelektrode), welche die Quelle für das Metall-Aerosol ist, und die andere aus einem wenig ablatierbaren Metall besteht, oder beide aus diesem leicht ablatierbaren Material bestehen oder beschichtet sind und damit beide Quelle (Opferelektroden) für das Metall-Aerosol sind.
8. Vorrichtung nach Anspruch 7, dadurch gekenn-

zeichnet, daß die Elektroden der Schaltfunkenstrecke (4) derart gestaltet sind, daß im durchgeschalteten Zustand mindestens ein Lichtbogenkanal zwischen den beiden Elektroden besteht.

9. Vorrichtung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß die beiden Elektroden der Schaltfunkenstrecke (4) gleich, schienenförmig sind und parallel (Rail-Gap) zueinander liegen.

10. Vorrichtung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Triggerlichtquelle (9) eine inkohärent strahlende Lichtquelle ist wie z. B. eine UV-Lichtquelle ist, deren Wellenlänge geringer als die langwellige Grenze für Photoemission von Elektronen aus den Aerosolpartikel ist, und in vorgegebener Intensität abstrahlt.

11. Vorrichtung nach Ansprüchen 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Triggerlichtquelle (9) ein Laser wie z. B. ein Stickstofflaser ist.

12. Vorrichtung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Quelle für die Metallpartikel des Aerosols aus Magnesium oder Kupfer oder einem sonst leicht Metallpartikel spendenden Metall ist.

13. Vorrichtung nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß die Gaszuführung (3) am Funkenerosionsgenerator (1) unmittelbar am Zwischenraum der beiden Opferelektroden (7) mündet.

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

30

35

40

45

50

55

60

65

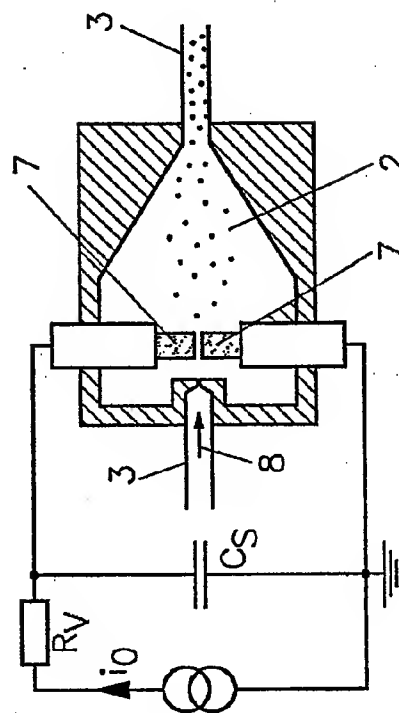
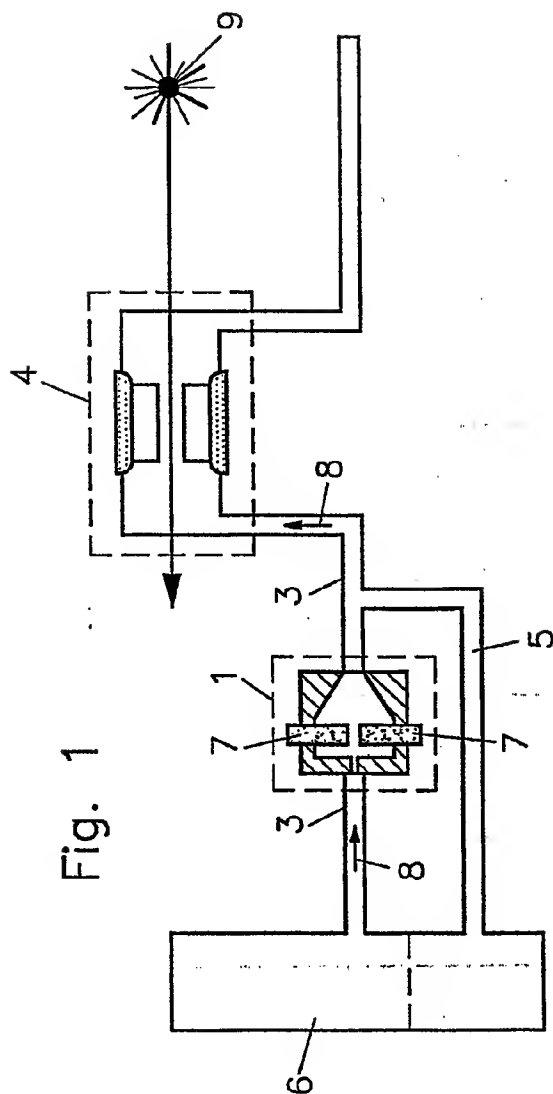


Fig. 2

Fig. 3

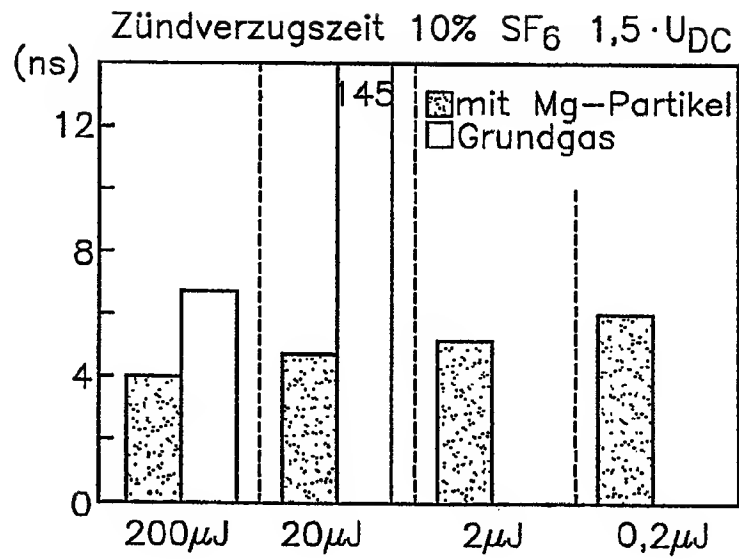


Fig. 4

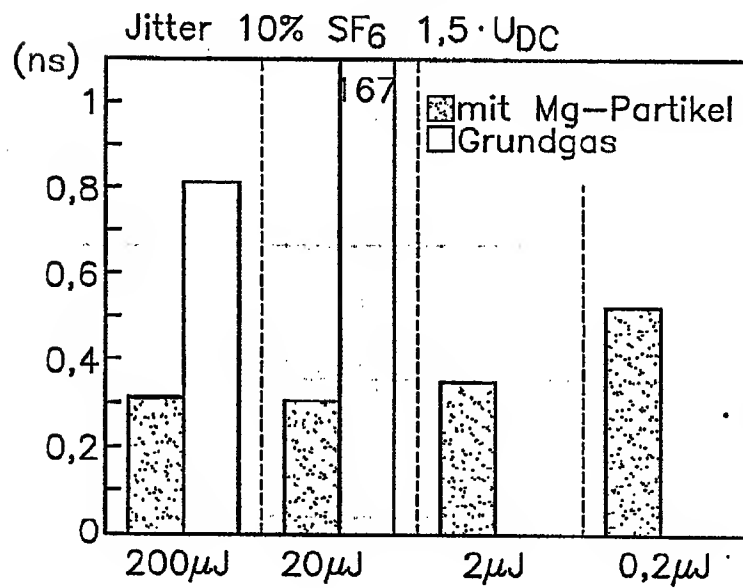




Fig. 5

